



30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

21, 22 et 23 novembre 2023

---

Palais des congrès de Tours

30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

Mise en œuvre de l'outil Agro-Eco Sol : évaluation de la pertinence des bioindicateurs et des liens avec les pratiques sur un jeu de données test

Carton-Moreau Cyriaque<sup>1</sup>, Le Souder C.<sup>2</sup>, Hourcade D.<sup>2</sup>, Valé M.<sup>1</sup>



Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée

<sup>1</sup> AUREA Agrosiences

<sup>2</sup> ARVALIS



Groupement d'études méthodologiques pour l'analyse des sols

# AGRO-ECO SOL : Un projet

30 ans



comifer Gemas

Juillet 2017 → Mars 2023



PORTEUR  
DU PROJET



PARTENAIRES **INRAE** **ARVALIS**

## PRESTATAIRES

Sociétés  
expertise conseil



Coopératives



DIJON CÉRÉALES



Laboratoires  
privés



Laboratoires de  
recherche



Ecole  
d'ingénieurs



Montant total du projet : 5,4 M€ dont 2 M€ d'aide PIA

Projet accompagné par l'ADEME dans le cadre du programme Industrie et Agriculture éco-efficentes du programme des Investissements d'Avenir





# AGRO-ECO SOL : Un outil

30 ans

comifer Gemas

Mars 2023

Outil  
D'analyses et de diagnostic du sol



Outil Fonctionnel  
D'analyses et de diagnostic du sol



AUJOURD'HUI  
Outil Fonctionnel, pertinent et Validé  
D'analyses, de diagnostic et de conseil.

**+ 200**

- Parcelles Agricoles analysées
- Grandes cultures

**~ 190**

- Variables :
  - Indicateurs
  - Observations terrain

**33**

- Référentiels testés

**~ 10 000**

- Analyses

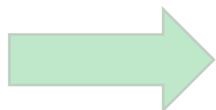
# AGRO-ECO SOL : Un outil

30 ans



Mars 2023

Outil  
D'analyse et de  
diagnostic du sol



Outil Fonctionnel  
D'analyse et de diagnostic  
du sol



AUJOURD'HUI  
Outil Fonctionnel,  
pertinent et Validé  
D'analyse, de diagnostic et  
de conseil.

## 3 questions:

- ? Est-ce que les résultats des mesures correspondent aux référentiels ?
- ? Quelles sont les relations entre les indicateurs ? Existe-t-il des corrélations/redondances ? Sont-elles attendues ou aberrantes ?
- ? Quels liens pouvons-nous observer entre les indicateurs et les pratiques agricoles ?

# Présentation des indicateurs

30 ans



| Type d'indicateur   | Méthode  | Référentiels utilisés  |
|---|--|--|
| Caractérisation de la matière organique :<br>carbone et azote labiles/stables | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fractionnement granulométrique de la matière organique</li> <li>Carbone microbien par fumigation</li> </ul>                         | BDD Auréa  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Carbone labile KMnO4</li> <li>Azote Biologiquement Minéralisable</li> </ul>   | Microbioterre + BDD Auréa  |
| Abondance microbienne   | <ul style="list-style-type: none"> <li>ADN microbien total (BMM)</li> <li>Abondance relative des champignons (ADNr 18S) et des bactéries (ADNr 16S) (ratio F/B)</li> </ul> | RMQS 1 <sup>ère</sup> campagne   |
| Activité microbienne  | Activités enzymatiques (N, C, P, S)  | BDD INRAE + RMQS   |
| Diversité des bactéries et champignons  | Diversité taxonomique par séquençage ADN haut débit  | RMQS 1 <sup>ère</sup> campagne   |
| Abondance et diversité des vers de terre, carabidés et collemboles            | Identification par analyse morphologique   | Vers de terre : INRAE (M. Hedde) + M bouché<br>Carabidés : SOERE ACBB, projet ARENA et ARVALIS<br>Collemboles : Joimel et al, 2017 |
| Abondance et diversité des nématodes  | Identification par analyse morphologique   | BDD ELISOL (Elipto®)   |

# Présentation des essais de longue durée

30 ans

64

Modalités d'essais longue durée

**Boigneville (91) (Arvalis)**

Essai LD « A »

→ Facteur Travail du sol

Essai LD Environnement

→ Facteurs Travail du sol et CI

Dispositif BIO

→ Facteur Système de culture

**La Jaillière (44) (Arvalis)**

Essai AMBPRO

→ Facteur Chaulage

**Oulmes (85)**

Essai Trivalis (ChAg PdL, Trivalis, Arvalis)

→ Facteurs PRO (type, dose) et Dose N

**SYPPRE Béarn, Sendets (64)**

(Arvalis, TI, ITB)

→ Facteur Système de culture

**SYPPRE Lauragais, Vieilleville (31)**

(Arvalis, TI, ITB)

→ Facteur Système de culture

**St Hilaire en Woëvre (55) (Arvalis)**

Essai LD Travail du sol

→ Facteurs Travail du sol et gestion des résidus

**Poix (51) (AREP, Arvalis)**

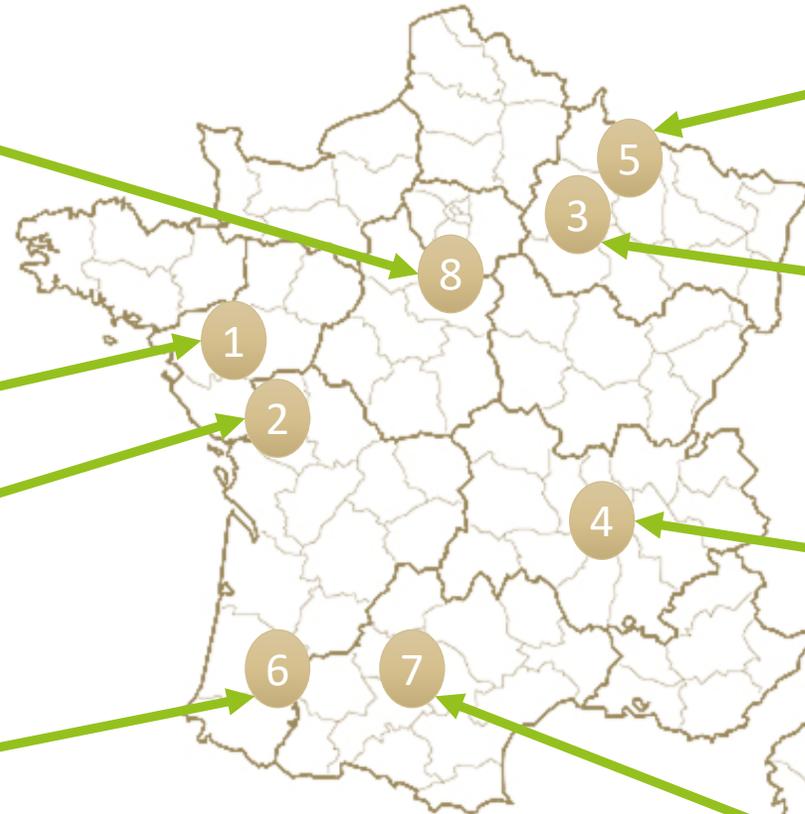
Essai CP-Leg

→ Facteur Système de culture, avec couverts

**Pusignan (69)**

(St Ex INNOV, avec Arvalis et coll)

→ Facteurs Travail du sol et Système de culture



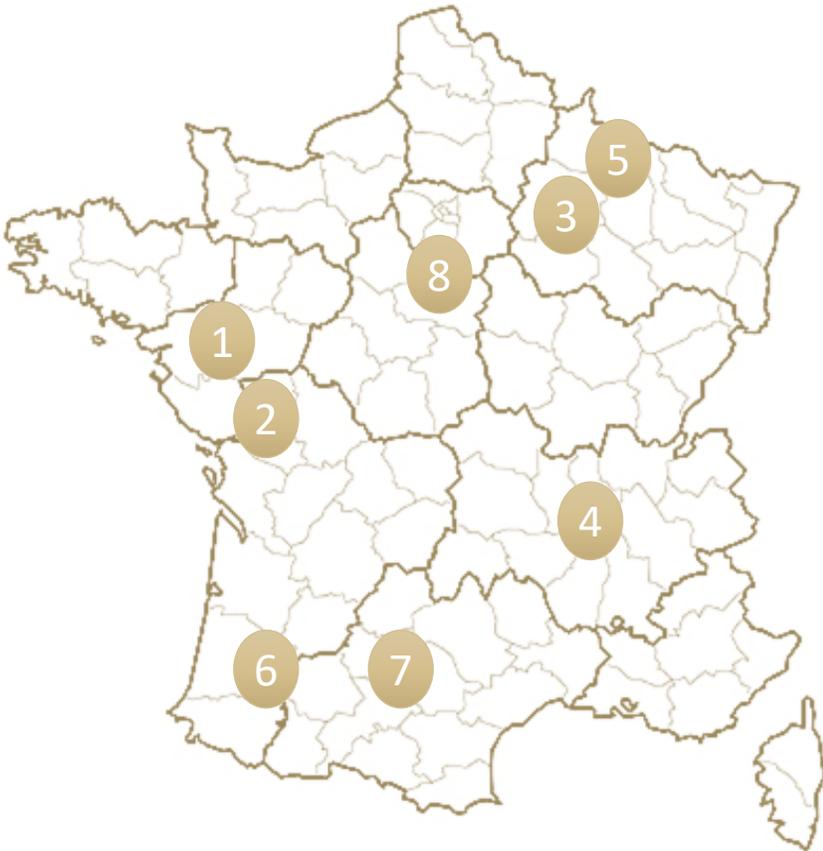
Informations transmises par Arvalis

# Présentation des essais de longue durée

30 ans



comifer Gemas



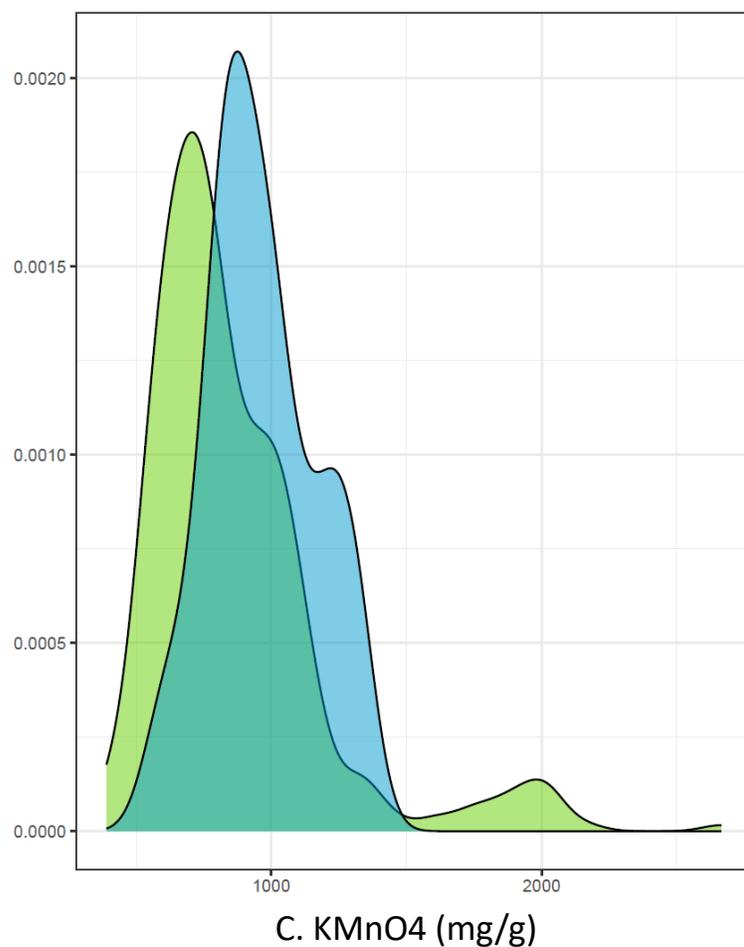
| Site                    | Sol  | MO%       | pH        | Argiles % | CaCO3 %     |
|-------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1– La Jaillière         | Limon battant drainé de l'ouest                  | 2,4 – 2,9 | 6,9 – 7,8 | 17 – 22   | 0,1 – 0,9   |
| 2– Oulmes               | Limon battant profond (90 cm) sain en profondeur | 2,4 – 2,8 | 6,6 – 7,4 | 19 – 23   | 0,1         |
| 3– Poix                 | Craie  | 2,6 – 4,3 | 8,1 – 8,2 | 5 – 7     | 53,5 – 86,4 |
| 4– Pusignan             | Gravier profond                                  | 1,9 – 2,8 | 6,4 – 7,7 | 13 – 16   | 0,1 – 1,3   |
| 5– St-Hilaire-en-Woëvre | Limon hydromorphe                                | 1,5 – 2,3 | 7,0 – 8,1 | 18 – 22   | 0,1 – 2,1   |
| 6– Syppre Béarn         | Terre noire humifère                             | 4,3 – 5,2 | 5,3 – 6,3 | 19 – 24   | 0,1         |
| 7– Syppre Lauragais     | Argilo-calcaire de coteaux                       | 1,7 – 1,9 | 8,1 – 8,2 | 25 – 24   | 1,0 – 2,0   |
| 8– Boigneville          | Limon argileux sur calcaire                      | 1,4 – 4,9 | 5,8 – 8,2 | 15 – 29   | 0,1 – 20,2  |

Informations transmises par Arvalis

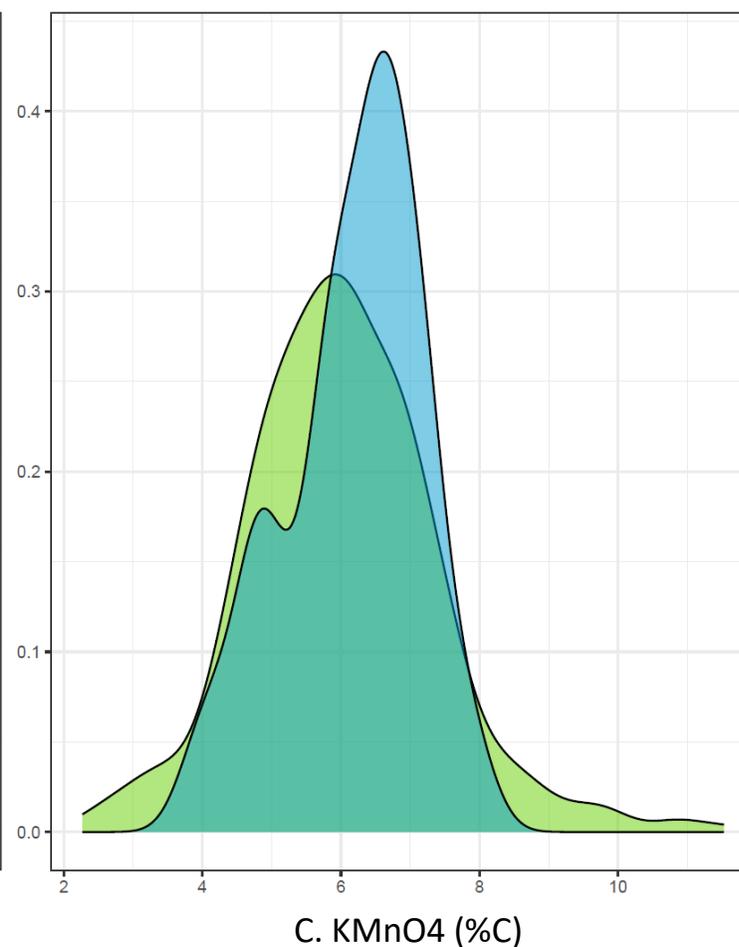
# Comparaison Mesures - Référentiels



Valeurs mesurées n= 64 Valeurs référentiel n= 359



Valeurs mesurées n= 64 Valeurs référentiel n= 365



## Méthode :

Oxydation "douce" à froid des matières organiques par le  $\text{KMnO}_4$  (d'après Weil et al., 2003)

→ représente une fraction de carbone directement mobilisable par les micro-organismes (ressources microbiennes)

- Pas de valeurs aberrantes
- Mesures dans le référentiel
- Léger décalage
  - Pratiques plus novatrices
- Référentiels : Microbioterre + Auréa

## Légende

■ Observation  
■ Référentiel

# Comparaison Mesures - Référentiels

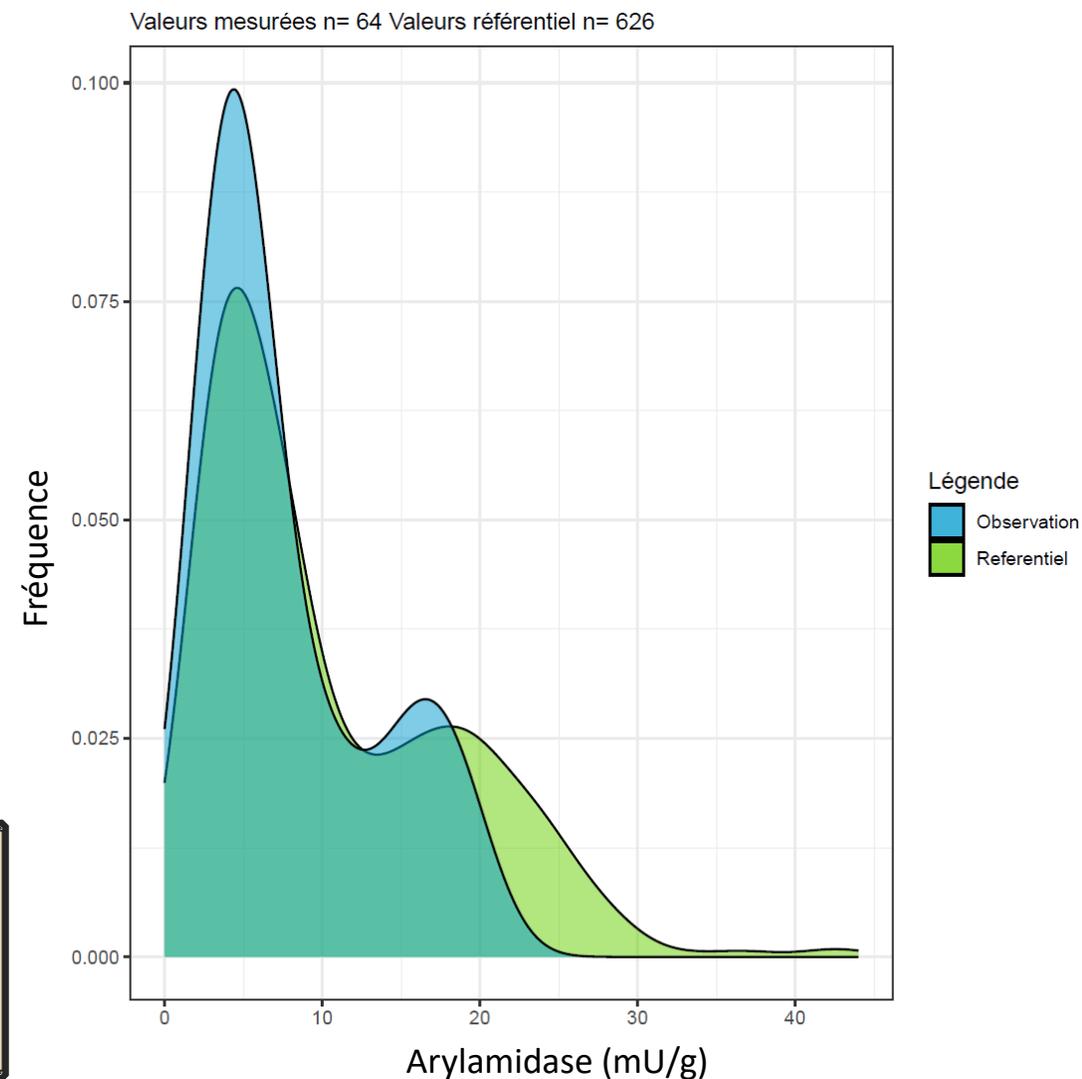


30 ans



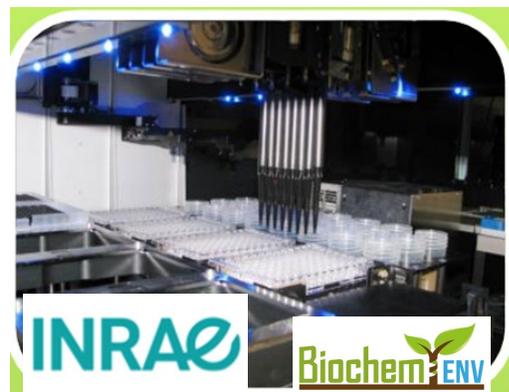
comifer Gemas

- Superposition quasi parfaite
- Idem pour toutes les enzymes
- Mesures dans le référentiel
- Référentiels : RMQS + BDD INRAE



## Méthode :

Mesure de l'activité des micro-organismes grâce à des substrats colorimétriques (NF ISO 20130)  
→ L'arylamidase est une enzyme qui intervient dans les premières étapes de minéralisation de l'azote organique



INRAE

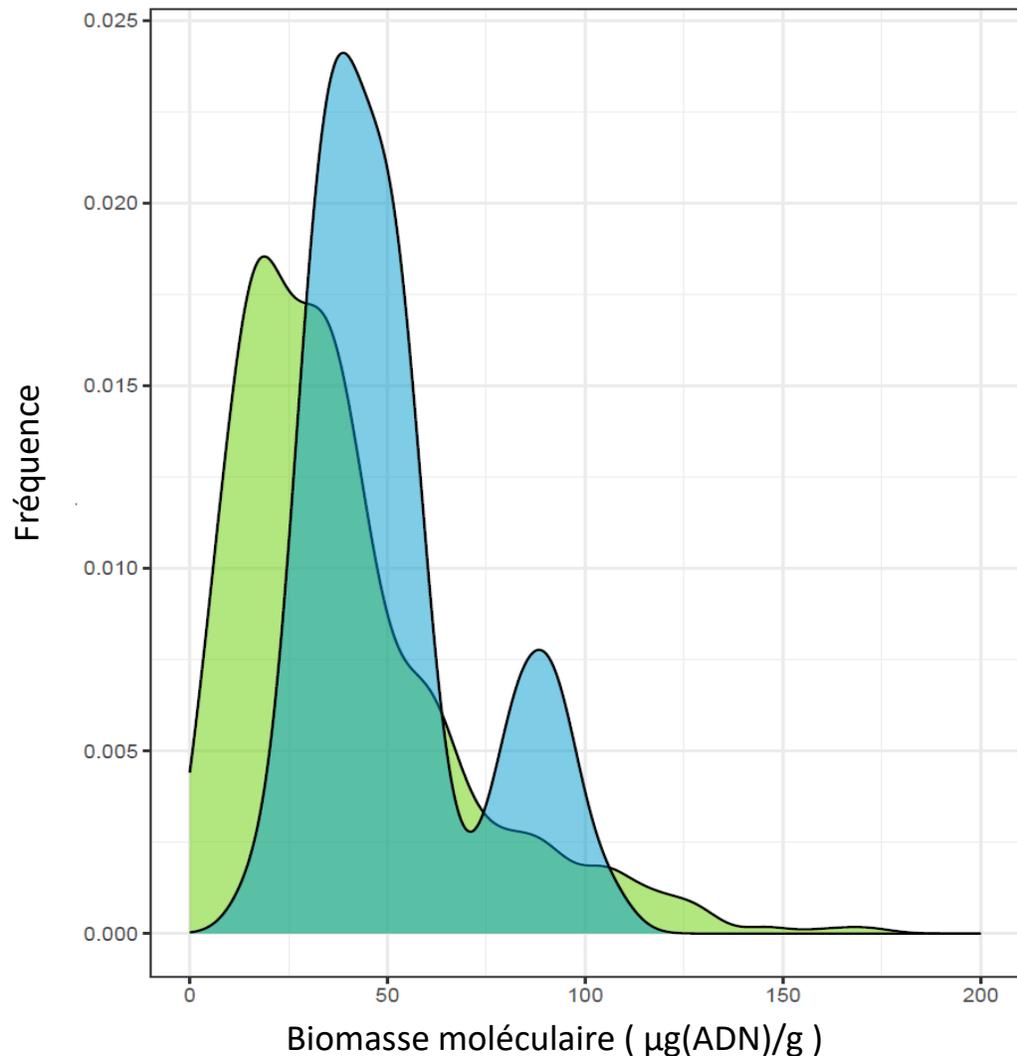
Biochem ENV

# Comparaison Mesures - Référentiels



30 ans

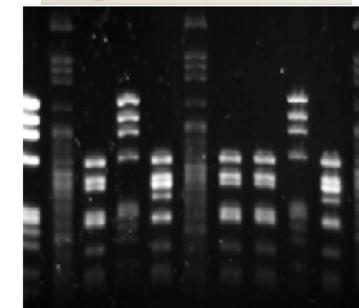
Valeurs mesurées n= 64 Valeurs référentiel n= 818



- Pas de valeurs aberrantes
- Mesures dans le référentiel
- Validation du transfert de technologie
- Pic entre 80-100 = Site de Poix
  - Site calcaire =  $\nearrow$  microorganismes
- Référentiel : RMQS

## Méthode :

Biomasse Microbienne Moléculaire (BMM) = indicateur d'abondance des microorganismes dans le sol, Extraction de l'ADN total microbien, quantifié par électrophorèse sur gel (NF EN ISO 11063, adaptée de Terrat et al, 2015)





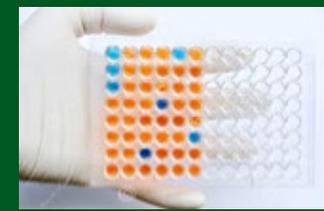
## Comparaison Mesures et Référentiels :

- ❖ Jeu de données des essais longue durée cohérent avec les référentiels transmis par la recherche
- ❖ Validité des transferts de technologie faites durant le projet
- ❖ Validation de la pertinence des conclusions tirées de ces essais
- ❖ Validation des données historiques qui correspondent aux observations

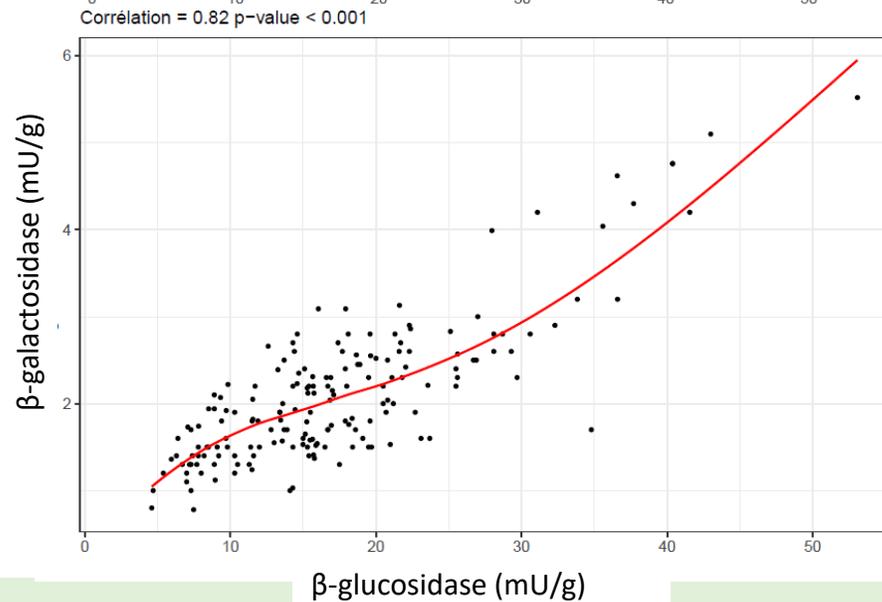
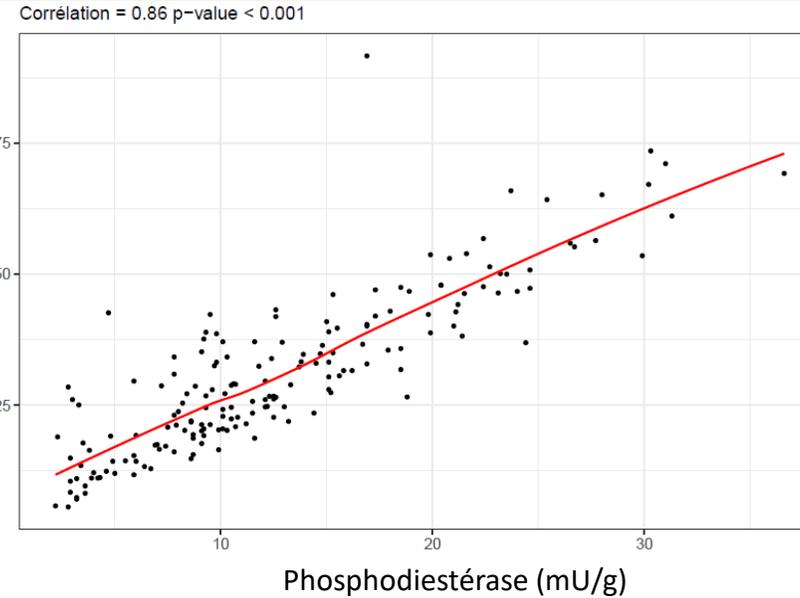
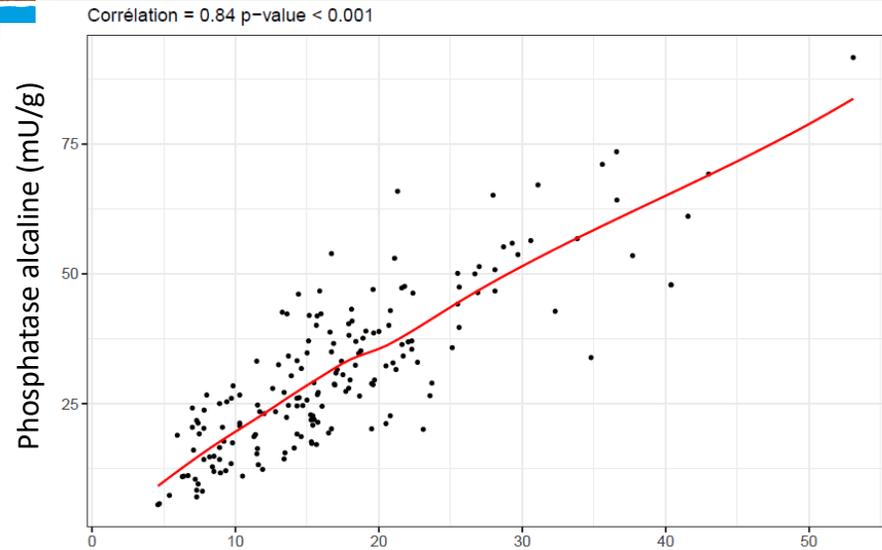
ende  
Observation  
Référentiel

Abondance Carabes (ind/piège)

# Test des redondances



30 ans



- Peu de redondances dans le jeu de données
- Redondance possible pour 3 enzymes :
  - $\beta$ -glucosidase
  - Phosphodiesterase
  - Phosphatase alcaline
- Travail plus approfondi envisagé

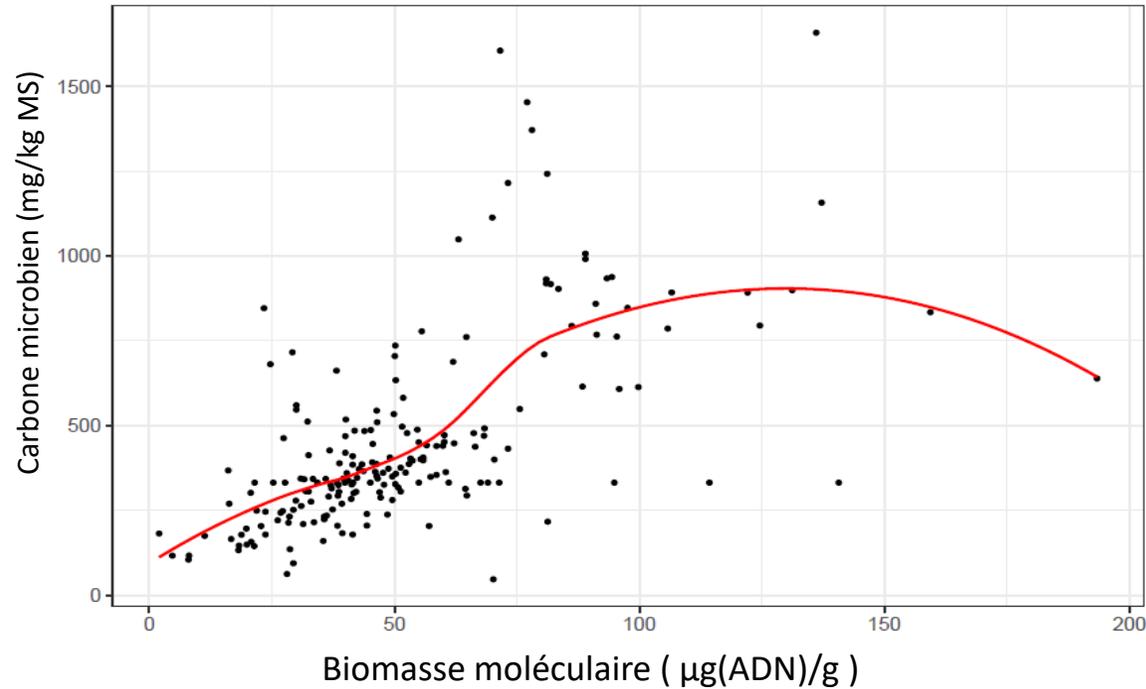
# Test des redondances



30 ans

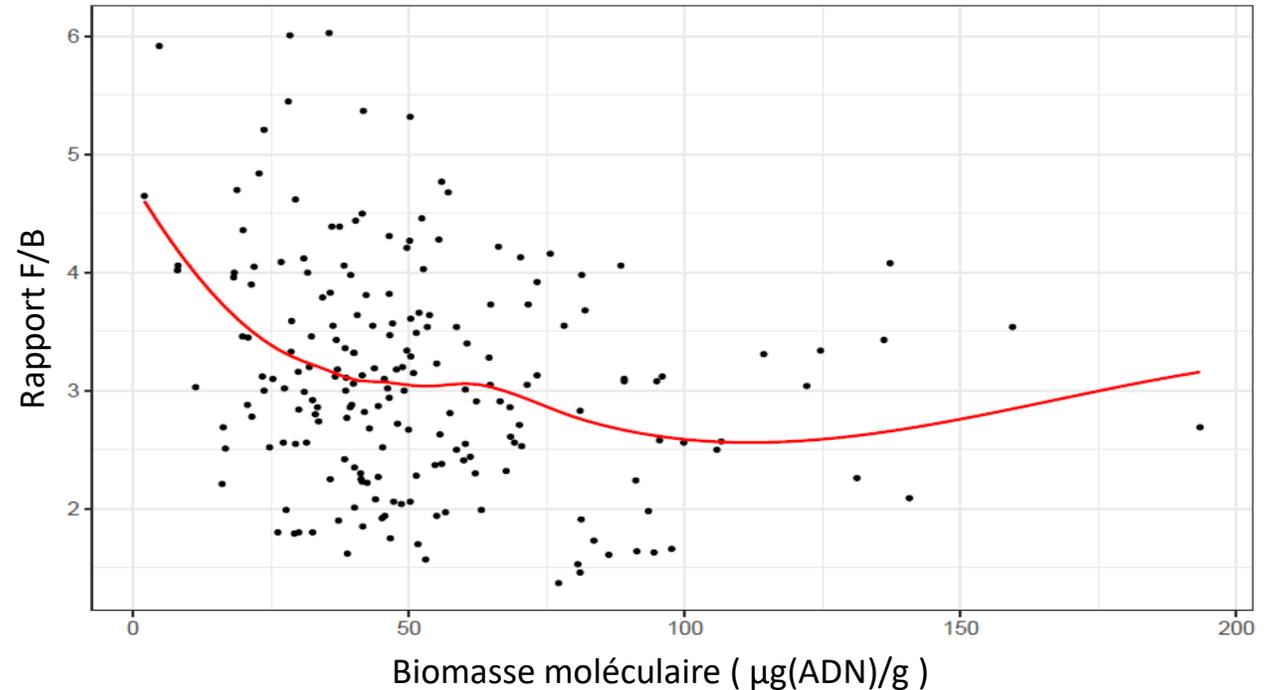


Corrélation = 0.63 p-value < 0.001



- Corrélation observé (0,63)
- Pas de redondance des indicateurs

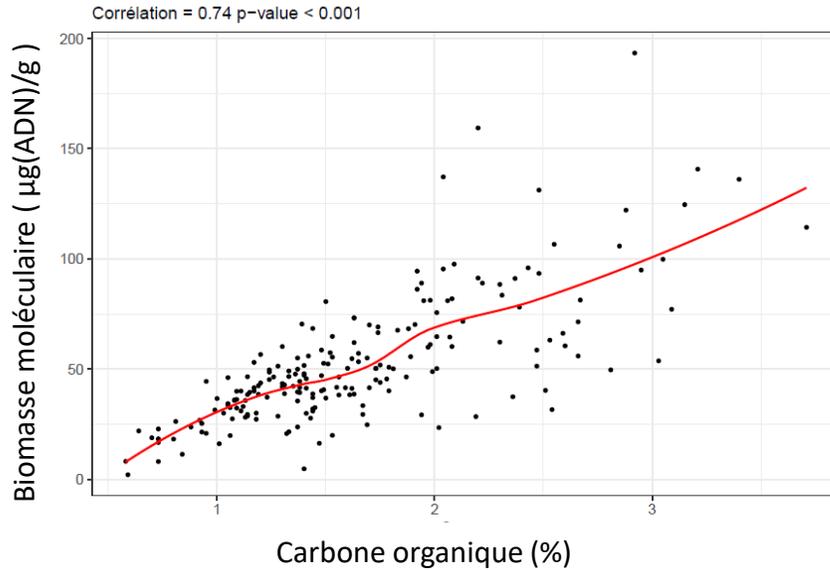
Corrélation = -0.22 p-value = 0.0015



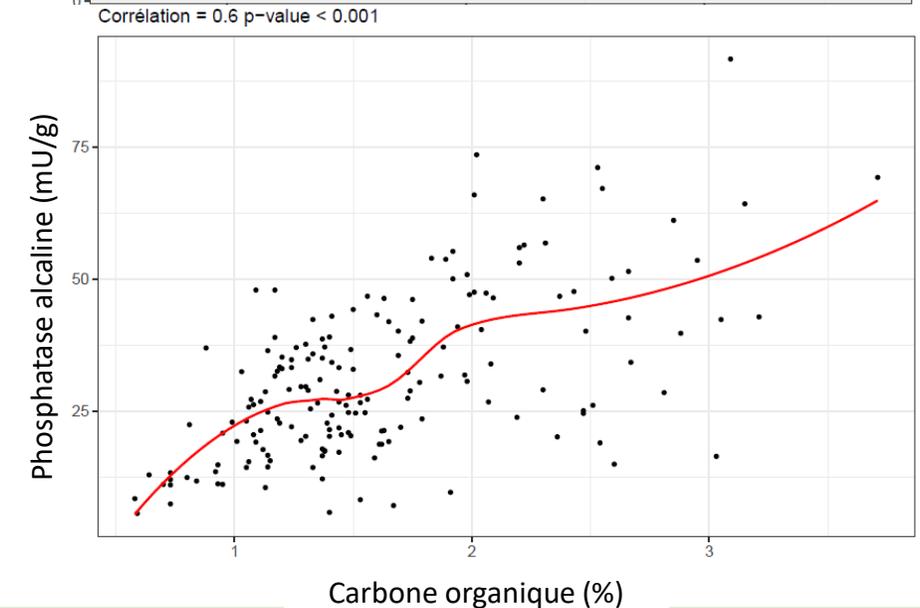
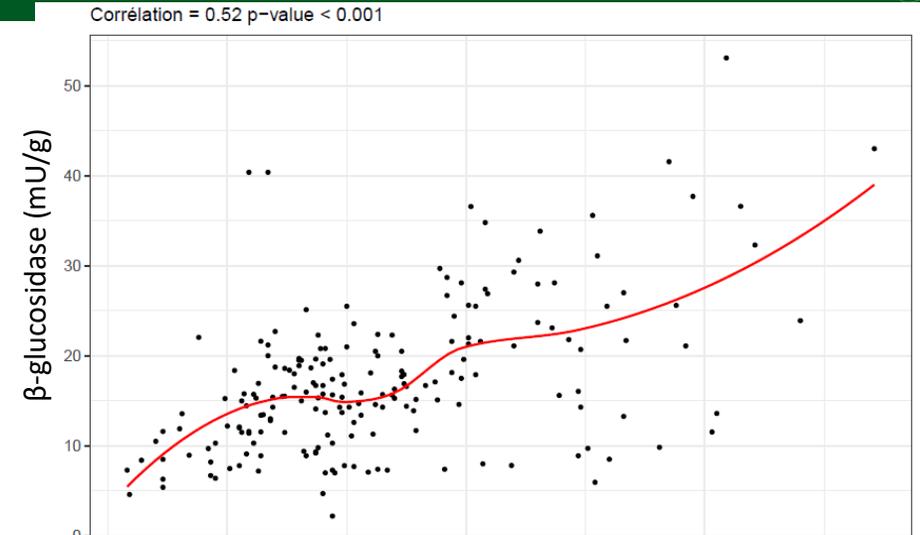
- Faible corrélation observée
- ↗ Abondance champignons = ↘ BMM

# Facteurs explicatifs – Carbone organique

30 ans



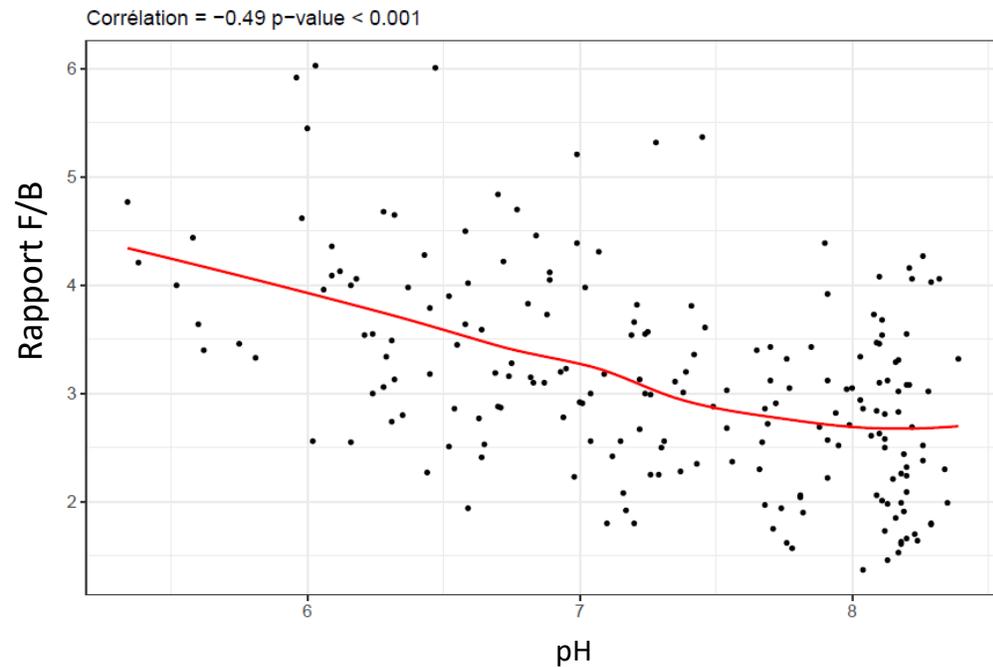
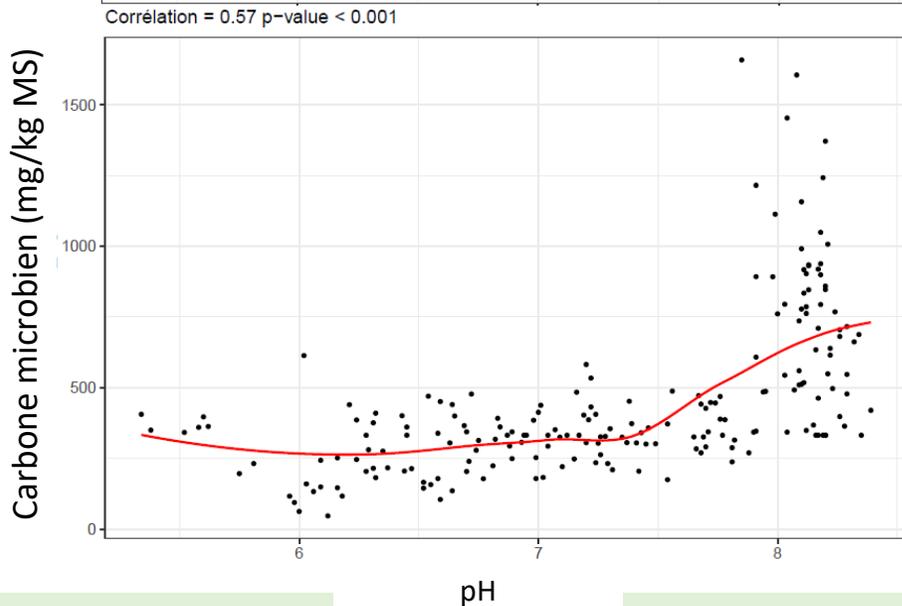
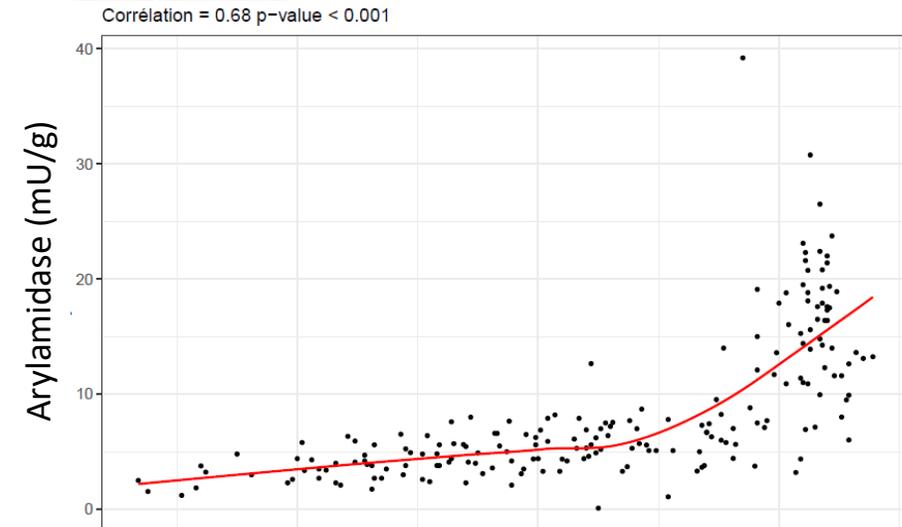
- Carbone organique = facteur explicatif des modèles prédictifs
- Corrélation entre  $\beta$ -glucosidase et C. organique
- Corrélation avec les enzymes au global
- Corrélation C. organique avec la Biomasse moléculaire





# Facteurs explicatifs - pH

30 ans

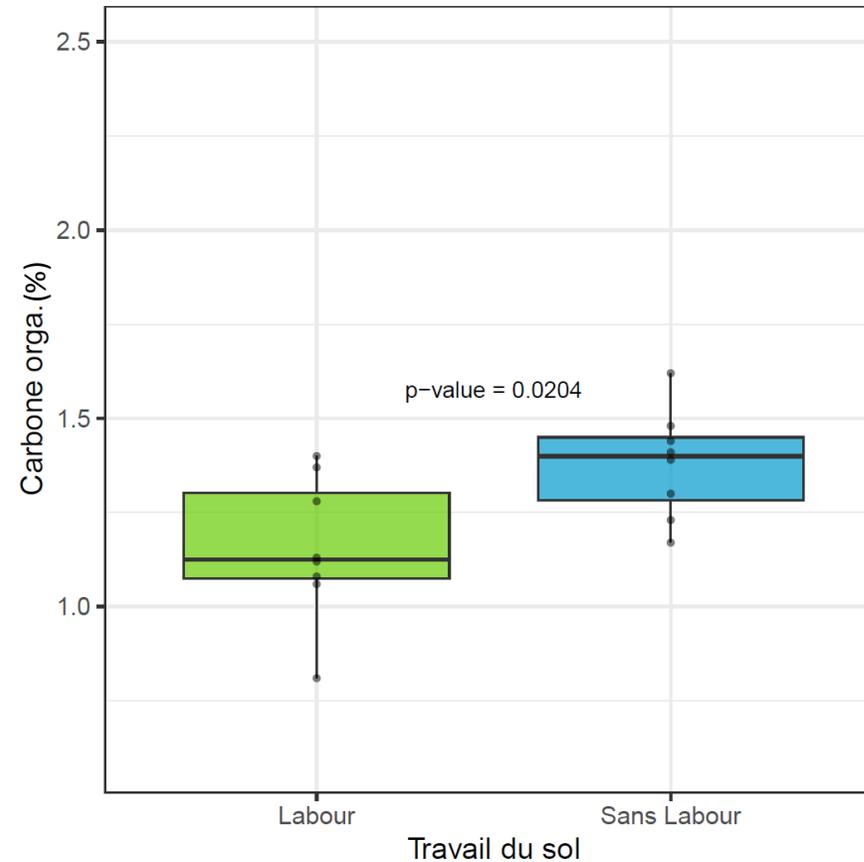
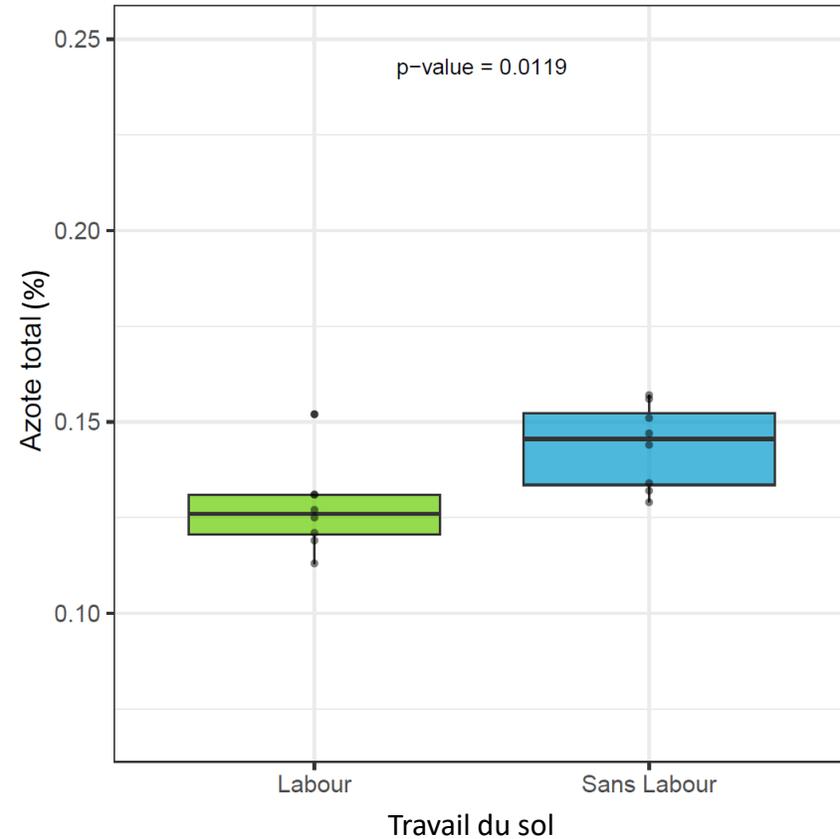


- pH = facteur explicatif des modèles prédictifs
- pH acide favorise une plus forte abondance de champignons
- Corrélation positive du pH et des activités enzymatiques, forte augmentation en sol calcaire
- Observation similaire pour le Carbone microbien



# Impacts des pratiques – Travail du sol

30 ans

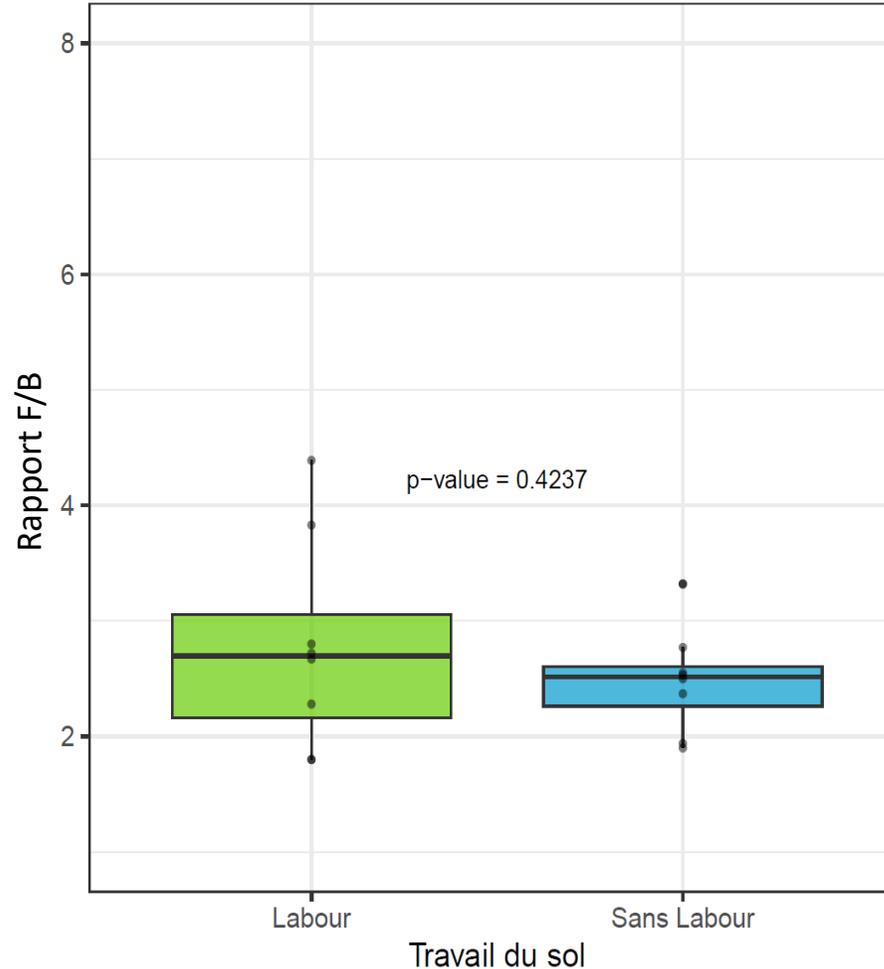
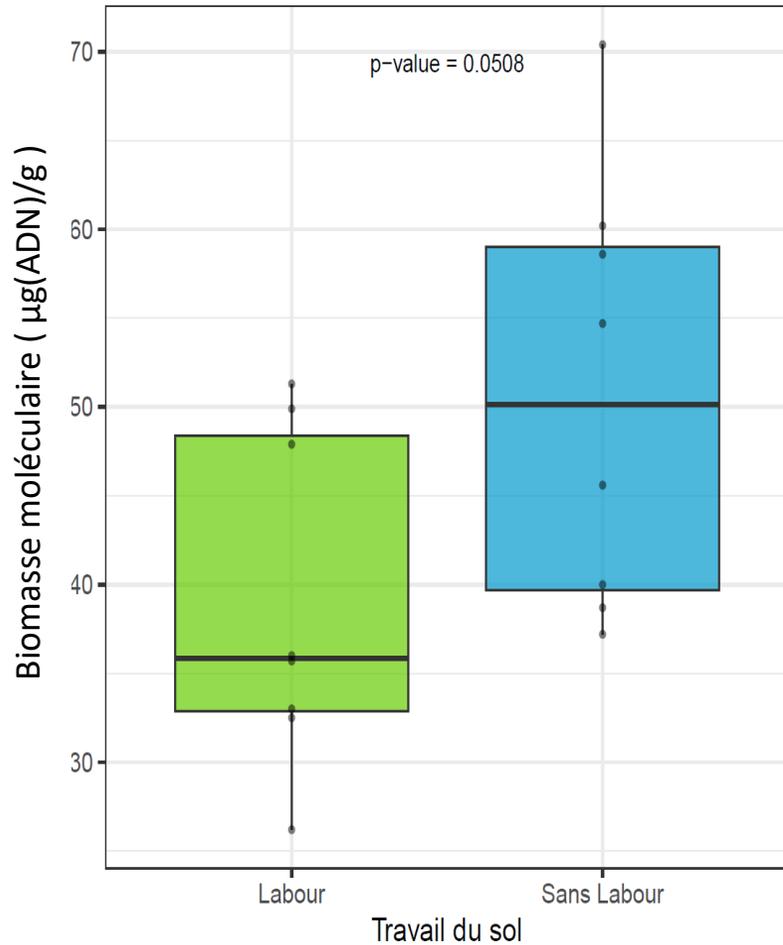


8 modalités testé  
Non labour = Semis direct ou Striptill

- Attendu : Sans travail du sol augmentation de la MO en surface, donc augmentation des teneurs en Carbone et Azote
- Effet observé ici

# Impacts des pratiques – Travail du sol

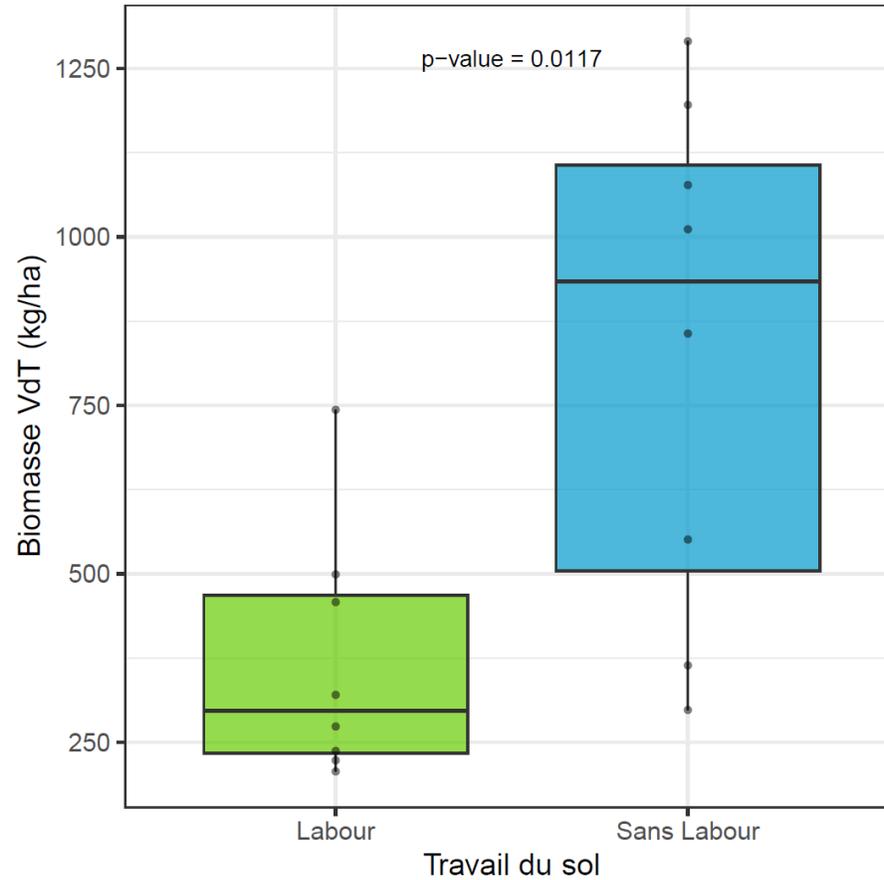
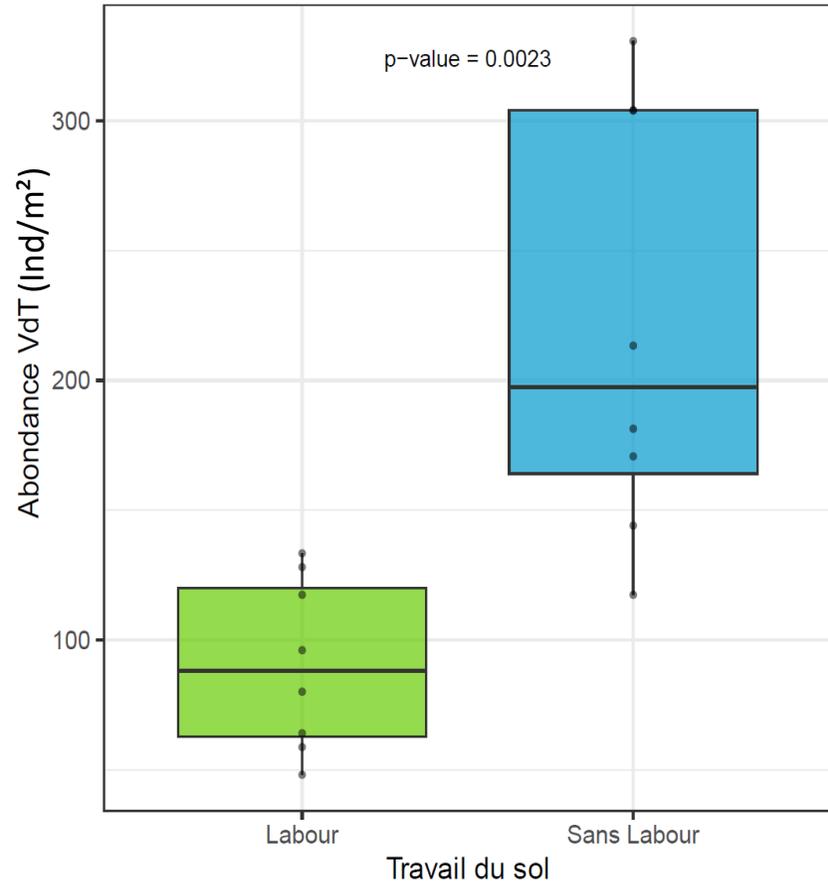
30 ans



- Augmentation de la Biomasse si diminution du travail du sol
- Effet attendu pour le rapport F/B mais pas observé

# Impacts des pratiques – Travail du sol

30 ans



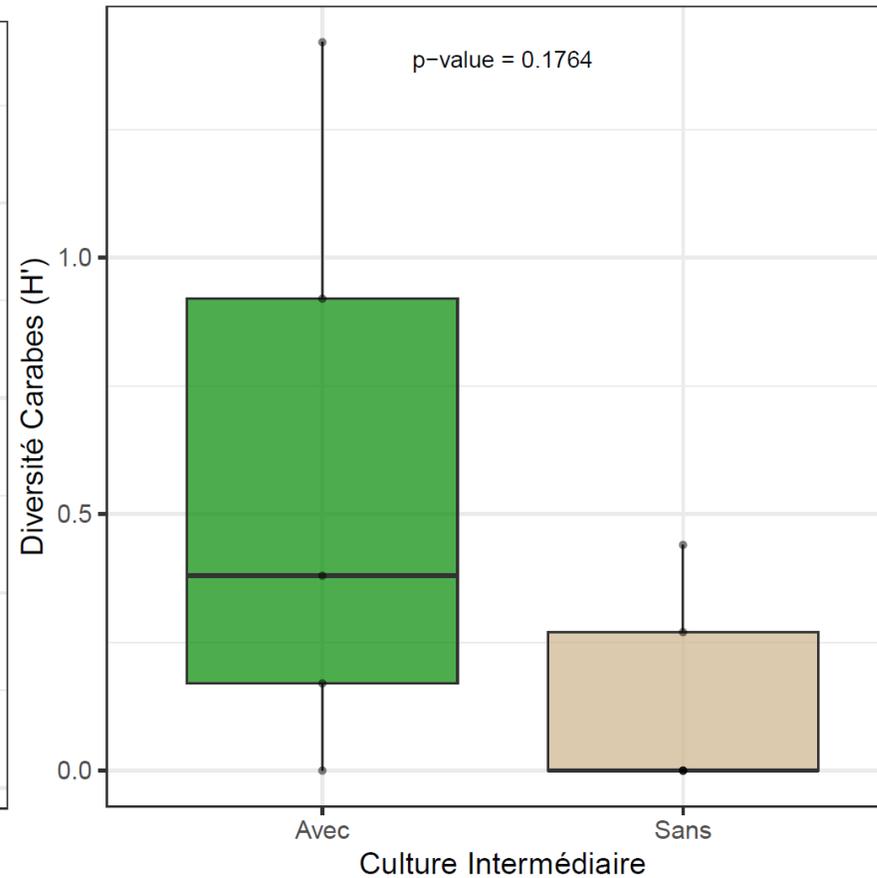
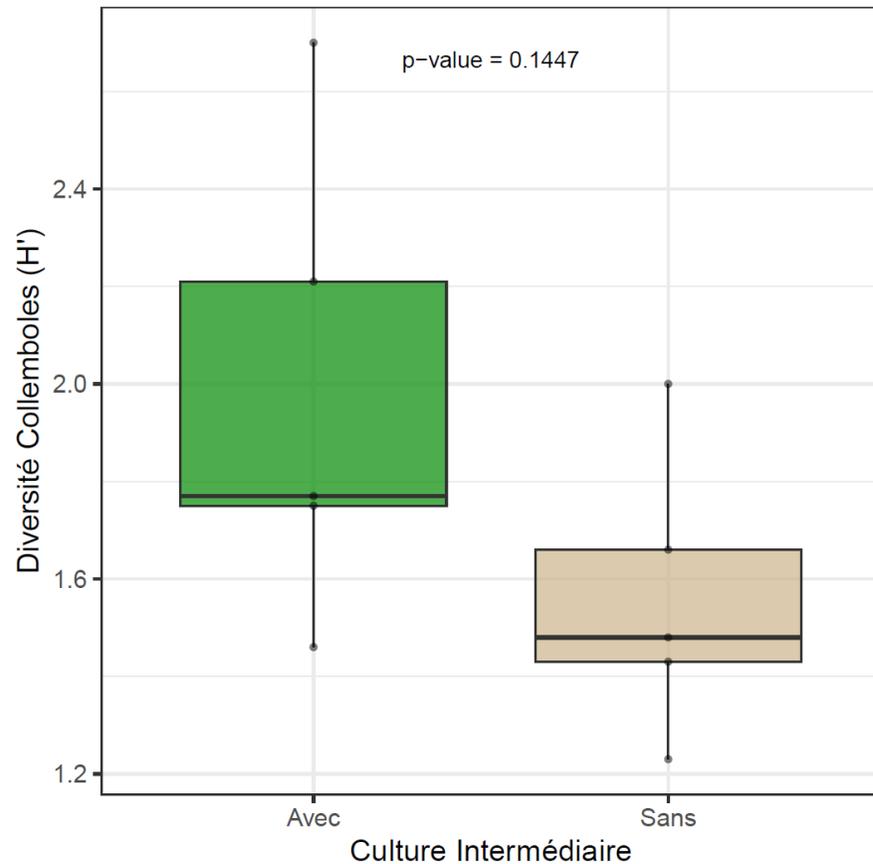
- Notre jeu de donnée confirme l'impact positif de la réduction du travail du sol sur l'abondance et la biomasse de vers de terre

# Impacts des pratiques – Cultures intermédiaires

30 ans



comifer Gemas



- Pas d'impact significatif de la présence des couverts
- Tendance d'augmentation de la diversité des collembolles et des carabes avec un couvert intermédiaire

# Conclusion

30 ans



comifer Gemas

Les mesures Agro-Eco Sol sont cohérentes avec les référentiels transmis par la recherche

Les indicateurs sont pertinents et avec peu de redondance

Les relations attendues avec les caractéristiques de sol sont observées

Impact des pratiques cohérent avec la littérature

L'évaluation des fonctions est en cours

La variabilité du jeu de données est encourageant quant à la validation des scores de performances





30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

21, 22 et 23 novembre 2023

Palais des congrès de Tours